

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-015041

(43)Date of publication of application : 17.01.1995

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 05-157219

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 28.06.1993

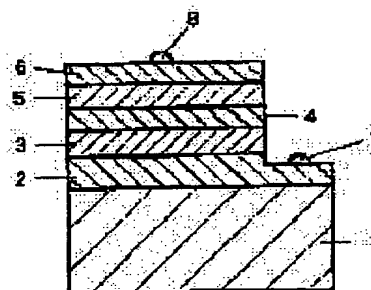
(72)Inventor : NAKAMURA SHUJI  
MUKAI TAKASHI

## (54) LIGHT EMITTING ELEMENT OF GALLIUM NITRIDE BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To make a gallium nitride based compound semiconductor layer emit light uniformly in the surface and improve light emission output, by adjusting the carrier concentration of an N-type gallium nitride based semiconductor layer and/or a P-type gallium nitride based compound semiconductor layer, so as to be small in accordance with the distance nearer from a light emitting layer.

**CONSTITUTION:** The following are laminated on a substrate 1; an N+ type GaN layer 2 as an N-type gallium nitride based compound semiconductor layer, and an N-type Ga<sub>1</sub>-YAl<sub>1-Y</sub>N layer 3 whose carrier concentration is smaller than the N+ type GaN layer 2. The value of Y is adjusted in the range of  $0 \leq Y < 1$ . An In<sub>X</sub>Ga<sub>1-X</sub> layer 4 as a light emitting layer is laminated where the value of X is adjusted in the range of  $0 < X < 1$ . As a P-type gallium nitride based compound semiconductor layer, a P-type Ga<sub>1</sub>-ZAl<sub>Z</sub>N layer 5 and a P+ type GaN layer 6 whose carrier concentration is larger than the P-type Ga<sub>1</sub>-ZAl<sub>Z</sub>N layer 5 are laminated. The value of Z is adjusted in the range of  $0 \leq Z < 1$ . Thereby a current can be made to flow uniformly in the whole part of the active layer, and uniform light emission is realized.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

19.04.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted to registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

2785254

[Date of registration]

29.05.1998

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**


---

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device of the double structure in the double which possesses an n type  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) layer as a luminous layer between n type gallium-nitride system compound semiconductor layer and p type gallium-nitride system compound semiconductor layer. The gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device characterized by being adjusted so that the carrier concentration of the aforementioned n type gallium-nitride system compound semiconductor layer and/or the aforementioned p type gallium-nitride system compound semiconductor layer may become small as it approaches the aforementioned  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  layer.

[Claim 2] The aforementioned n type gallium-nitride system compound semiconductor layer is a gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device according to claim 1 characterized by the double structure from an n<sup>+</sup> type GaN layer with large carrier concentration, and an n type  $\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_y\text{N}$  ( $0 \leq y < 1$ ) layer with carrier concentration smaller than an n<sup>+</sup> type GaN layer.

[Claim 3] The aforementioned p type gallium-nitride system compound semiconductor layer is a gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device according to claim 1 characterized by the double structure from a p<sup>+</sup> type GaN layer with large carrier concentration, and a p type  $\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z\text{N}$  ( $0 \leq z < 1$ ) layer with carrier concentration smaller than a p<sup>+</sup> type GaN layer.

[Claim 4] The aforementioned n type  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  layer is a gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device according to claim 1 characterized by doping n type dopant and p type dopant, and considering as n type.

[Claim 5] The aforementioned p type gallium-nitride system compound semiconductor layer is the claim 1 characterized by carrying out annealing and forming low resistance above 400 degrees C, or a gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device according to claim 3.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] this invention relates to the light emitting device which used the gallium-nitride system compound semiconductor, especially forward voltage (Vf) is low and is related with a gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device with a still higher radiant power output.

[Description of the Prior Art] Since gallium-nitride system compound semiconductors, such as GaN, GaAlN, InGaN, and InAlGaIn, have a direct transition and a band gap changes to 1.95eV - 6eV, promising \*\* of light emitting diode, the laser diode, etc. is carried out as a material of a light emitting device. now, p type dopant was doped on n type gallium-nitride system compound semiconductor at the light emitting device using this material — high — the so-called blue light emitting diode of the MIS structure which carried out the laminating of the i type gallium-nitride system compound semiconductor [\*\*\*\*] is known

[0002] as an example of the light emitting device of MIS structure, the technology which makes n type gallium-nitride system compound semiconductor layer the two-layer structure of n layers of low carrier concentration and n+ layer of high carrier concentration from the order near i layers in JP,3-252176,A, JP,3-252177,A, and JP,3-252178,A, and/or the technology which makes high impurity concentration of i layers i layer of low high impurity concentration, i+ layer of high high impurity concentration, and two-layer structure from the order near n layers are indicated however, the light emitting device of these MIS structure — luminescence intensity and a radiant power output — very much — low — further — high — since i layers [\*\*\*\*] were made into the luminous layer, more than 20V and since it was high, forward voltage (Vf) was inadequate for luminous efficiency putting in practical use by being bad

[0003] As an idea of the light emitting device which, on the other hand, used the gallium-nitride system compound semiconductor which has p-n junction, Light Emitting Diode of terrorism structure is proposed to the double which makes a GaAlN layer a luminous layer, and Light Emitting Diode of terrorism structure is proposed [at JP,59-228776,A] by JP,4-209577,A to the double which makes InGaN of a non dope a luminous layer. Moreover, as for the light emitting device of double hetero structure using p-n junction, much structures are proposed conventionally besides these official reports. However, since the formation of p mold of a gallium-nitride system compound semiconductor layer was difficult, such technology was not realized.

[0004] high — i type [\*\*\*\*] — low — considering as p type [\*\*\*\*], and we being Japanese Patent Application No. 357046 [three to], and carrying out annealing of the i type gallium-nitride system compound semiconductor layer above 400 degrees C as technology for realizing the light emitting device of the p-n junction which raised the radiant power output, — low — the technology used as p type [\*\*\*\*] was proposed

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] When we performed p mold-ization of a gallium-nitride system compound semiconductor with the above-mentioned technology and realized the light emitting device of double hetero structure using p-n junction for the first time, with the double hetero structure by which the conventional proposal was made, current did not flow uniformly between n type layer and p type layer, but we discovered that a gallium-nitride system compound semiconductor did not emit light to the homogeneity within a field. Moreover, according to our experiment, the big difference appeared in the radiant power output by factors, such as combination of the gallium-nitride system compound semiconductor which carries out a laminating, and a composition ratio. And the ohmic nature of the electrode formed in p type gallium-nitride system compound semiconductor was influenced by factors, such as the crystallinity of the p type layer, and a kind, forward voltage (Vf) became high to the defined forward current, and there was a problem that luminous efficiency fell.

[0006] Therefore, when this invention is accomplished for the purpose of solving the above-mentioned trouble and the 1st purpose offers the structure of the light emitting device of new double hetero structure, it is in making a gallium-nitride system compound semiconductor layer emit light to the homogeneity within a field, and raising the radiant power output of a light emitting device, and the 2nd purpose reduces Vf of a gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device, and is to raise luminous efficiency.

[0007]

[Means for Solving the Problem] It found out that the above-mentioned problem was solvable by our improving further the light emitting device of the double hetero structure which makes a luminous layer a specific gallium-nitride system compound semiconductor, and adjusting the carrier concentration of n type clad layer which sandwiches the luminous layer, and/or p clad layer. Namely, the gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device of this invention It is the gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device of the terrorism structure in the double which possesses an n type InXGa1-XN (0 < X < 1) layer as a luminous layer between n type gallium-nitride system compound semiconductor layer and p type gallium-nitride system compound semiconductor layer. The carrier concentration of the aforementioned n type gallium-nitride system compound semiconductor layer and/or the aforementioned p type gallium-nitride system compound semiconductor layer is characterized by being adjusted so that it may become small as it approaches the aforementioned InXGa1-XN layer.

[0008] Drawing 1 is the type section view showing the structure of the light emitting device of one example of this

invntion, and is n type gallium-nitride system compound semiconductor layer (it is hereafter called n clad layer.) on a substrate 1. The laminating of the n+ type GaN layer 2 and the n type Ga1-YAlYN layer 3 with carrier concentration smaller than the n+GaN layer 2 is carried out, the laminating of the InXGa1-XN layer 4 is carried out as a luminous layer on it, and it is p type gallium-nitride system compound semiconductor layer (it is hereafter called p clad layer.) on it. \*\*\*\*\* - it is considering as the double hetero structure which carried out the laminating of the p type Ga1-ZAlZN layer 5 and the p+ type GaN layer 6 with larger carrier concentration than a p type Ga1-ZAlZN layer to order

[0009] Although material, such as sapphire, and SiC, Si, ZnO, is used for a substrate 1, sapphire is usually used. Moreover, before growing up the n+GaN layer 2, you may grow up the buffer layer which consists of GaN, AlN, etc. on a substrate 1.

[0010] Although n clad layer is made into the two-layer structure which carried out the laminating of the n+ type GaN layer 2 and the n type Ga1-YAlYN layer 3 in drawing 1, if it has adjusted so small that it is not necessary to make especially this layer into two-layer structure and a luminous layer 4 is approached in the carrier concentration of this n clad layer, it cannot be overemphasized that it is good also as a multilayer layer structure which carried out the three or more layer laminating of the n clad layer. Since crystallinity becomes the best by setting to largest n+ type GaN of carrier concentration preferably the layer which grows first, the crystallinity of the n type Ga1-YAlYN layer which grows on the n+ type GaN layer also becomes good, and its radiant power output of a light emitting device improves. As for the carrier concentration of n clad layer, it is desirable to be able to make it change by changing suitably the amount of dopes of n type dopants, such as Si, germanium, Se, Te, C, etc. which are doped to a gallium-nitride system compound semiconductor, to dope the aforementioned dopant, and to adjust carrier concentration to the range of three to  $1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$  of  $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ .

[0011] Although a luminous layer 3 sets to n mold InXGa1-XN, and it will not limit especially if X value is larger than 0, it is desirable to adjust to the range of  $0 < X < 0.5$ . The luminescent color can shift to a long wavelength side from a short wavelength side, and X value can change it even to red in the one neighborhood as X value is increased. However, since InGaN X value exceeded [InGaN] in crystallinity 0.5 or more becomes is hard to be obtained and the light emitting device excellent in luminous efficiency becomes is hard to be obtained, as for X value, less than 0.5 are desirable.

[0012] Moreover, it is still more desirable to dope said n type dopant or n type dopant, and p type dopants, such as Zn, Mg, Be, calcium, Sr, and Ba, and to consider as n type, although the n type InXGa1-XN layer 3 has the property in which a non dop also serves as n type. n type with which drawing 2 doped Zn  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  — In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N layer and n type which doped  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  and Si for Zn  $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  — it is drawing in which irradiating helium-Cd laser at In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N layer, measuring a photoluminescence (PL) at a room temperature, and measuring and showing those luminescence intensity. The spectral intensity of the InGaN layer which doped only Zn expands actual intensity by 10 times, and shows it. As shown in this drawing, the element to which the direction of PL spectrum (a) of n type InGaN which doped Si and Zn makes a luminous layer the InGaN layer which the direction of (a) became large 10 or more times as for the luminescence intensity, it doped n type dopant and p type dopant simultaneously, and was used as n type excels most PL spectrum (b) of n type InGaN which doped only Zn in the radiant power output. In addition, the In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N layer emission spectrum which doped only Si  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  had a luminescence peak near 410nm, and the luminescence intensity was about 1 of (a)/2.

[0013] Although p clad layer is made into the two-layer structure which carried out the laminating of the p type Ga1-ZAlZN layer 4 and the p+ type GaN layer 5 in drawing 1. If it has adjusted so small that it is not necessary to make especially this layer into two-layer structure and a luminous layer 4 is approached in the carrier concentration of this p clad layer, it is good as a multilayer layer structure which carried out the three or more layer laminating of the p clad layer as well as n clad layer. By setting to largest p+ type GaN of carrier concentration preferably the layer which forms an electrode, an electrode material and a desirable ohmic contact can be obtained, Vf of a light emitting device can be reduced, and luminous efficiency can be raised. Moreover, in order to change the carrier concentration of p clad layer, it is desirable to be able to realize by changing suitably the amount of dopes of said p type dopant, and to adjust carrier concentration to the range of three to  $1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$  of  $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ .

[0014] furthermore, the thing done for annealing above 400 degrees C so that the aforementioned p clad layer may be indicated to Japanese Patent Application No. No. 357046 [three to] for which we applied previously as stated above — further — low — p type [\*\*\*\*] can be obtained and the radiant power output of a light emitting device can be raised

[0015] [Function] An operation of the light emitting device of this invention is explained based on drawing 1. If it energizes to a positive electrode 8 and a negative electrode 7, current will spread in the homogeneity within a field in the p+ type GaN layer 6 of high carrier concentration. If current value is made to increase and a certain amount of electric field are built, the current which spread in the p+ type GaN layer 6 can spread uniformly also in the p type Ga1-ZAlZN layer of low carrier concentration, and can make the InXGa1-XN layer 3 emit light uniformly. There is an operation with the same said of n clad layer, by dividing n clad layer into the n+ type GaN layer 2 and the n type Ga1-YAlYN layer 3, current flows uniformly in the InXGa1-XN layer 3, uniform luminescence is obtained, and a radiant power output can be increased.

[0016] Furthermore, by limiting a layer with the largest carrier concentration with GaN in n clad layer, when the crystallinity of the n type Ga1-YAlYN layer which carries out a laminating on it improves and crystallinity improves, a radiant power output can be increased.

[0017] Moreover, by limiting a layer with the largest carrier concentration with GaN in p clad layer, ohmic nature with the positive electrode formed on the p+ type GaN layer can become good, can reduce Vf, and can raise luminous efficiency.

[0018]

[Example] Below by the organic-metal vapor growth, how to manufacture the light emitting device of this invention is stated.

[0019] [Example 1] Passing hydrogen, after setting the often washed silicon on sapphire in a reaction container and replacing the inside of a reaction container enough from hydrogen, the temperature of a substrate is raised to 1050 degrees C, and silicon on sapphire is clad and.

[0020] Then, temperature is lowered to 510 degrees C, hydrogen is used as carrier gas, ammonia and TMG (trimethylgallium) are used as material gas, and the buffer layer which consists of GaN on silicon on sapphire is grown up by about 200A thickness.

[0021] Only TMG is stopped after buffer-layer growth and temperature is raised to 1030 degrees C. If it becomes 1030 degrees C, similarly, TMG and ammonia gas will be used for material gas, silane gas will be used for dopant gas, and 3.5 micrometers of n-type GaN layers which doped Si will be grown up. In addition, the carrier concentration of this Si-doped n-GaN layer was  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ .

[0022] Then, the flow rate of silane gas is less than and 0.5 micrometers of n-type GaN layers of  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  of carrier concentration are grown up. Thus, n-clad layer is made into the two-layer structure where carrier concentration differs.

[0023] Material gas and dopant gas are stopped after n-type GaN layer growth, temperature is made into 800 degrees C, carrier gas is changed to nitrogen, and the 100Å n-mold  $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  layer which doped Zn and Si is grown up as material gas, using DEZ (diethyl zinc) and silane gas as TMG, TMI (trimethylindium), ammonia, and dopant gas.

[0024] Next, material gas and dopant gas are stopped, temperature is again raised to 1020 degrees C, and 0.2 micrometers of p-type GaN layers which doped Mg are grown up as material gas, using  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  (magnesium cyclopentadienyl) as TMG, ammonia, and dopant gas.

[0025] Then, the flow rate of  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  gas is made [many], and 0.3 micrometers of p-type GaN layers which doped many Mg rather than the p-type GaN layer are grown up. Thus, p-clad layer is made into the two-layer structure where carrier concentration differs.

[0026] A substrate is taken out from a reaction container after p-type GaN layer growth, annealing equipment is performed the inside of nitrogen atmosphere, annealing is performed for 20 minutes at 700 degrees C, and a p-type GaN layer and a p-type GaN layer are further formed into low resistance. In addition, the carrier concentration of  $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  and a p-GaN layer of the carrier concentration of a p-type GaN layer was  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ .

[0027] A part of p-clad layer of the wafer obtained as mentioned above, n-mold  $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  layer, and n-type GaN layer are removed by etching, and an n-type GaN layer is exposed. A p-type GaN layer, After preparing an ohmic electrode in an n-type GaN layer and cutting into the chip of 500-micrometer angle, When considered as light emitting diode according to the conventional method, it observed from the silicon-on-sapphire side, and uniform luminescence was obtained and Vf4.0V and radiant-power-output 700microW, the luminescence wavelength of 490nm, and the brightness of 1.1 cds/were obtained in 20mA on the whole surface.

[0028] In the [example 2] example 1, in case an n-type GaN layer is grown up, TMA (trimethylaluminum) is newly added to material gas, and, similarly the 3.5-micrometer Si-doped n-mold  $\text{Ga}_{0.9}\text{Al}_{0.1}\text{N}$  layer of carrier concentration  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  is grown up.

[0029] Furthermore, in case a p-type GaN layer is grown up, TMA (trimethylaluminum) is newly added to material gas, and, similarly the 0.2-micrometer Mg-doped p-mold  $\text{Ga}_{0.9}\text{Al}_{0.1}\text{N}$  layer of  $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  of carrier concentration is grown up.

[0030] When the above others obtained blue light emitting diode like the example 1, the same uniform complete luminescence was obtained and they were 1.1 cds in Vf4.0V and radiant-power-output 700microW, the luminescence wavelength of 490nm, and brightness in 20mA.

[0031] In the [example 3] example 1, when n-clad layer was used as carrier concentration  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  and one layer of Si-doped n-type GaN layers of 4 micrometers of thickness and also blue light emitting diode was obtained similarly, the same uniform complete luminescence was obtained and it was 1 cd in Vf4.2V and radiant-power-output 500microW, the luminescence wavelength of 490nm, and brightness in 20mA.

[0032] In the [example 4] example 1, when p-clad layer was used as carrier concentration  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  and one layer of Mg-doped p-type GaN layers of 0.5 micrometers of thickness and also blue light emitting diode was obtained similarly, the same uniform complete luminescence was obtained and it was 1 cd in Vf4.2V and radiant-power-output 500microW, the luminescence wavelength of 490nm, and brightness in 20mA.

[0033] In the [example 5] example 1, when p-clad layer was made into the Mg-doped p-mold  $\text{Ga}_{0.9}\text{Al}_{0.1}\text{N}$  layer 1 layer of carrier concentration  $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  and 0.2 micrometers of thickness and also blue light emitting diode was obtained similarly, the same uniform complete luminescence was obtained and it was 1 cd in Vf10V and radiant-power-output 500microW, the luminescence wavelength of 490nm, and brightness in 20mA. Vf increased because ohmic nature became bad writing p-clad layer as GaAlN.

[0034] [Effect of the Invention] as explained above, since the gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device of this invention makes n-type InGaN structure to the double of the p-n junction made into a luminous layer, as compared with the light emitting device of the conventional MIS structure, it is markedly alike and luminous efficiency and a radiant power output increase. Moreover, preferably, if an n-type InGaN layer is n-type with which p-type dopant and n-type dopant were doped, a radiant power output will increase further.

[0035] Furthermore, since the light emitting device of this invention makes so small that InGaN which is a barrier layer is approached carrier concentration of n-clad layer whose InGaN layer is pinched, and/or p-clad layer, current flows uniformly to the whole barrier layer, and uniform luminescence is obtained. Either is sufficient although it is desirable to make n-clad layer and p-clad layer into the aforementioned structure in order to make the radiant power output of a light emitting device into the maximum. thus, by changing a clad layer, the radiant power output of a light emitting device can be boiled markedly, and can be raised. Moreover, by using the electrode cambium of p-clad layer as a p-GaN layer preferably, ohmic nature with an electrode can become good, can reduce Vf, and can raise luminous efficiency.

[Translation done.]

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The type section view showing the structure of the gallium-nitride system compound semiconductor light emitting device of one example of this invention.

[Drawing 2] Drawing measuring and showing the photoluminescence intensity of the n type InGaN layer by the difference in a dopant.

### [Description of Notations]

1 .... Substrate 2 .... n+ type GaN layer

3 .... n type Ga<sub>1</sub>-YAl<sub>1</sub>N layer 4 .... n type In<sub>X</sub>Ga<sub>1</sub>-XN layer

5 .... p type Ga<sub>1</sub>-ZAl<sub>1</sub>N layer 6 .... p+ type GaN layer

7 and 8 .. Electrode

---

[Translation done.]

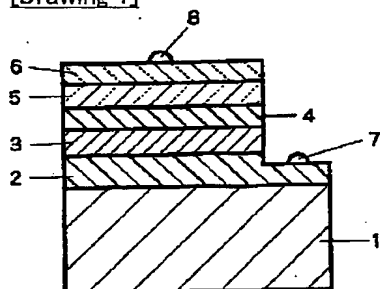
## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

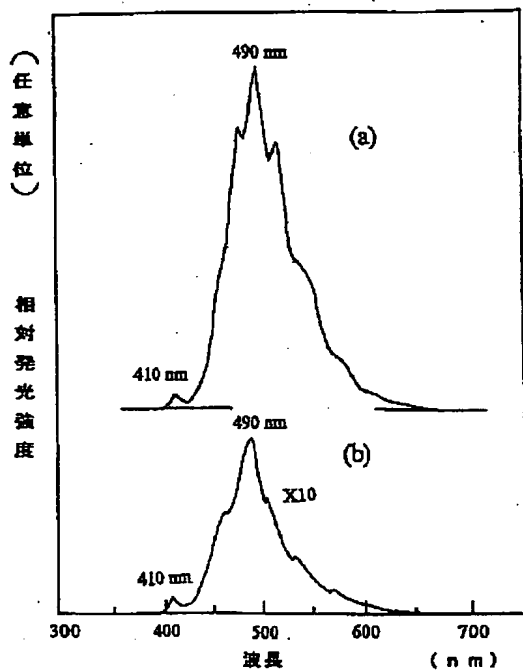
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

[Drawing 1]



[Drawing 2]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 7 - 1 5 0 4 1

(43) 公開日 平成7年(1995)1月17日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

C 7376-4 M

審査請求 未請求 請求項の数 5

O L

(全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平5-157219

(22) 出願日 平成5年(1993)6月28日

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 向井 孝志

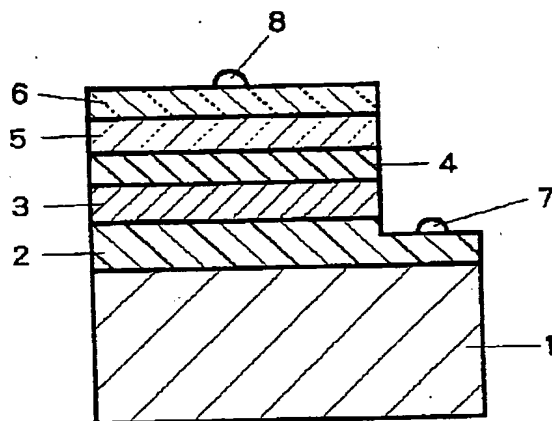
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体発光素子

(57) 【要約】

【目的】 新規なダブルヘテロ構造の発光素子の構造を提供することにより、窒化ガリウム系化合物半導体層を面内均一に発光させ、発光素子の発光出力を向上させるとともに、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子のV<sub>f</sub>を低下させ、発光効率を向上させるp-n接合の窒化ガリウム系化合物半導体を用いて発光素子の輝度、および発光出力を向上させる。

【構成】 n型窒化ガリウム系化合物半導体層と、p型窒化ガリウム系化合物半導体層との間にn型In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (0<X<1)層を発光層として具備するダブルヘテロ構造の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子であって、前記n型窒化ガリウム系化合物半導体層、および／または前記p型窒化ガリウム系化合物半導体層のキャリア濃度が、前記In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層に接近するにつれて、低く調整されている。





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型窒化ガリウム系化合物半導体層と、p型窒化ガリウム系化合物半導体層との間にn型 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ )層を发光層として具備するダブルヘテロ構造の窒化ガリウム系化合物半導体发光素子であって、前記n型窒化ガリウム系化合物半導体層、および/または前記p型窒化ガリウム系化合物半導体層のキャリア濃度が、前記 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層に接近するにつれて、小さくなるように調整されていることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体发光素子。

【請求項2】 前記n型窒化ガリウム系化合物半導体層は、キャリア濃度の大きいn<sup>+</sup>型Ga<sub>1-y</sub>Al<sub>y</sub>N ( $0 \leq y < 1$ )層とからなることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体发光素子。

【請求項3】 前記p型窒化ガリウム系化合物半導体層は、キャリア濃度の大きいp<sup>+</sup>型Ga<sub>1-z</sub>Al<sub>z</sub>N ( $0 \leq z < 1$ )層とからなることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体发光素子。

【請求項4】 前記n型 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層は、n型ドーパントとp型ドーパントとがドーピングされてn型とされていることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体发光素子。

【請求項5】 前記p型窒化ガリウム系化合物半導体層は400℃以上でアニーリングされて低抵抗化されていることを特徴とする請求項1、または請求項3に記載の窒化ガリウム系化合物半導体发光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は窒化ガリウム系化合物半導体を用いた发光素子に係り、特に順方向電圧(V<sub>f</sub>)が低く、さらに发光出力が高い窒化ガリウム系化合物半導体发光素子に関する。

【従来の技術】Ga<sub>1-x</sub>N、GaAlN、InGa<sub>1-x</sub>N、InAlGa<sub>1-x</sub>N等の窒化ガリウム系化合物半導体は直接遷移を有し、バンドギャップが1.95eV~6eVまで変化するため、发光ダイオード、レーザダイオード等、发光素子の材料として有望視されている。現在、この材料を用いた发光素子には、n型窒化ガリウム系化合物半導体の上に、p型ドーパントをドーピングした高抵抗なi型の窒化ガリウム系化合物半導体を積層したいわゆるMIS構造の青色发光ダイオードが知られている。

【0002】MIS構造の发光素子の一例として、特開平3-252176号公報、特開平3-252177号公報、特開平3-252178号公報において、n型窒化ガリウム系化合物半導体層を、i層に近い順から低キャリア濃度のn層と、高キャリア濃度のn<sup>+</sup>層との2層構造とする技術、および/またはi層の不純物濃度をn層に近い順から低不純物濃度のi層と、高不純物濃度の

i<sup>+</sup>層と2層構造とする技術が開示されている。しかしながら、これらMIS構造の发光素子は发光強度、发光出力が非常に低く、さらに高抵抗なi層を发光層としているため順方向電圧(V<sub>f</sub>)が20V以上と高いため发光効率が悪く、実用化するには不十分であった。

【0003】一方、p-n接合を有する窒化ガリウム系化合物半導体を利用した发光素子のアイデアとして、例えば、特開昭59-228776号公報では、GaAlN層を发光層とするダブルヘテロ構造のLEDが提案されており、また、特開平4-209577号公報では、ノンドープのInGa<sub>1-x</sub>Nを发光層とするダブルヘテロ構造のLEDが提案されている。またこれら公報の他、従来p-n接合を用いたダブルヘテロ構造の发光素子は数々の構造が提案されている。しかしながら、これらの技術は、窒化ガリウム系化合物半導体層のp型化が困難であったため、実現されてはいなかった。

【0004】高抵抗なi型を低抵抗なp型とし、发光出力を向上させたp-n接合の发光素子を実現するための技術として、我々は特願平3-357046号で、i型窒化ガリウム系化合物半導体層を400℃以上でアニーリングすることにより低抵抗なp型とする技術を提案した。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】我々は、上記技術により窒化ガリウム系化合物半導体のp型化を行い、初めてp-n接合を用いたダブルヘテロ構造の发光素子を実現したところ、従来提案されていたダブルヘテロ構造では、n型層とp型層との間に電流が均一に流れず、窒化ガリウム系化合物半導体が面内均一に发光しないことを発見した。また、我々の実験によると、積層する窒化ガリウム系化合物半導体の組み合わせ、組成比等の要因で发光出力に大きな差が現れた。しかも、p型窒化ガリウム系化合物半導体に形成する電極のオーミック性が、そのp型層の結晶性、種類等の要因によって左右され、定められた順方向電流に対し、順方向電圧(V<sub>f</sub>)が高くなり、发光効率が低下するという問題があった。

【0006】従って、本発明は上記問題点を解決することを目的として成されたものであり第1の目的は、新規なダブルヘテロ構造の发光素子の構造を提供することにより、窒化ガリウム系化合物半導体層を面内均一に发光させ、发光素子の发光出力を向上させることにあり、第2の目的は、窒化ガリウム系化合物半導体发光素子のV<sub>f</sub>を低下させ、发光効率を向上させることにある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】我々は特定の窒化ガリウム系化合物半導体を发光層とするダブルヘテロ構造の发光素子をさらに改良し、その发光層を挟むn型クラッド層および/またはpクラッド層のキャリア濃度を調整することにより、上記問題を解決できることを見出した。即ち、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体发光素

子は、n型窒化ガリウム系化合物半導体層と、p型窒化ガリウム系化合物半導体層との間にn型 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) 層を発光層として具備するダブルヘテロ構造の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子であって、前記n型窒化ガリウム系化合物半導体層、および/または前記p型窒化ガリウム系化合物半導体層のキャリア濃度が、前記 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層に接近するにつれて、小さくなるように調整されていることを特徴とする。

【0008】図1は本発明の一実施例の発光素子の構造を示す模式断面図であり、基板1の上に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層（以下、nクラッド層という。）として、n<sup>+</sup>型Ga<sub>1-y</sub>Al<sub>y</sub>N層2と、n<sup>+</sup>GaN層2よりもキャリア濃度の小さいn型Ga<sub>1-y</sub>Al<sub>y</sub>N層3とを積層し、その上に発光層として $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層4を積層し、その上にp型窒化ガリウム系化合物半導体層（以下、pクラッド層という。）として、p型Ga<sub>1-z</sub>Al<sub>z</sub>N層5と、p型Ga<sub>1-z</sub>Al<sub>z</sub>N層よりもキャリア濃度の大きいp<sup>+</sup>GaN層6とを順に積層したダブルヘテロ構造としている。

【0009】基板1にはサファイア、SiC、Si、ZnO等の材料が使用されるが、通常はサファイアが用いられる。また、n<sup>+</sup>GaN層2を成長させる前に、基板1の上にGa<sub>1-x</sub>N、Al<sub>1-x</sub>N等からなるバッファ層を成長させてもよい。

【0010】図1では、nクラッド層はn<sup>+</sup>型Ga<sub>1-y</sub>Al<sub>y</sub>N層2と、n型Ga<sub>1-y</sub>Al<sub>y</sub>N層3とを積層した2層構造としているが、特にこの層を2層構造とする必要はなく、このnクラッド層のキャリア濃度を発光層4に接近するほど小さく調整してあれば、nクラッド層を3層以上積層した多層膜層構造としてもよいことはいふまでもない。好ましくは、最初に成長する層をキャリア濃度の最も大きいn<sup>+</sup>型Ga<sub>1-y</sub>Al<sub>y</sub>N層2とすることにより、結晶性が最も良くなるため、そのn<sup>+</sup>型Ga<sub>1-y</sub>Al<sub>y</sub>N層の上に成長するn型Ga<sub>1-y</sub>Al<sub>y</sub>N層3の結晶性も良くなり発光素子の発光出力が向上する。nクラッド層のキャリア濃度は、窒化ガリウム系化合物半導体にドーピングするSi、Ge、Se、Te、C等のn型ドーパントのドーピング量を適宜変更することにより変化させることができ、前記ドーパントをドーピングして、キャリア濃度を $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ の範囲に調整することが好ましい。

【0011】発光層3はn型 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ とし、X値は0より大きければ特に限定しないが、 $0 < x < 0.5$ の範囲に調整することが好ましい。X値を増加するに従い発光色は短波長側から長波長側に移行し、X値が1付近で赤色にまで変化させることができる。しかしながら、X値が0.5以上では結晶性に優れたInGa<sub>1-x</sub>Nが得られにくくなり、発光効率に優れた発光素子が得られにくくなるため、X値は0.5未満が好ましい。

【0012】また、n型 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層3はノンドープでもn型となる性質があるが、前記したn型ドーパ

ト、またはn型ドーパントと、Zn、Mg、Be、Ca、Sr、Ba等のp型ドーパントとをドーピングしてn型とする方がさらに好ましい。図2は、Znを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーピングしたn型 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層と、Znを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ およびSiを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングしたn型 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層とにHe-Cdレーザーを照射して、室温でフォトルミネッセンス(PL)を測定し、それらの発光強度を比較して示す図である。ZnのみをドーピングしたInGa<sub>1-x</sub>N層のスペクトル強度は実際の強度を10倍に拡大して示している。この図に示すように、Znのみをドーピングしたn型InGa<sub>1-x</sub>NのPLスペクトル(b)よりも、SiおよびZnをドーピングしたn型InGa<sub>1-x</sub>NのPLスペクトル(a)の方がその発光強度は(a)の方が10倍以上大きくなり、n型ドーパントとp型ドーパントとを同時にドーピングしてn型としたInGa<sub>1-x</sub>N層を発光層とする素子が最も発光出力に優れている。なおSiのみを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングした $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層の発光スペクトルは410nm付近に発光ピークがあり、その発光強度は(a)のおよそ1/2であった。

【0013】図1において、pクラッド層はp型Ga<sub>1-z</sub>Al<sub>z</sub>N層4と、p<sup>+</sup>GaN層5とを積層した2層構造としているが、nクラッド層と同じく、特にこの層を2層構造とする必要はなく、このpクラッド層のキャリア濃度を発光層4に接近するほど小さく調整してあれば、pクラッド層を3層以上積層した多層膜層構造としてもよい。好ましくは、電極を形成する層をキャリア濃度の最も大きいp<sup>+</sup>GaNとすることにより、電極材料と好ましいオーミックコンタクトが得られ、発光素子のV<sub>f</sub>を低下させて、発光効率を向上させることができる。また、pクラッド層のキャリア濃度を変化させるには、前記したp型ドーパントのドーピング量を適宜変更することにより実現でき、キャリア濃度を $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ の範囲に調整することが好ましい。

【0014】さらに、前記pクラッド層は、前にも述べたように我々が先に出願した特願平3-357046号に開示するように、400℃以上でアニーリングすることにより、さらに低抵抗なp型を得ることができ、発光素子の発光出力を向上させることができる。

【0015】

【作用】図1を元に本発明の発光素子の作用を説明する。正電極8と、負電極7に通電すると、電流は高キャリア濃度のp<sup>+</sup>GaN層6で面内均一に広がる。電流値を増加させ、ある程度の電界がかかると、p<sup>+</sup>GaN層6に広がった電流は低キャリア濃度のp型Ga<sub>1-z</sub>Al<sub>z</sub>N層にも均一に広がり、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層3を均一に発光させることができる。nクラッド層についても同様の作用があり、nクラッド層をn<sup>+</sup>GaN層2とn型Ga<sub>1-y</sub>Al<sub>y</sub>N層3とに分けることにより、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層3に均一に電流が流れて均一な発光が得ら

れ、発光出力を増大させることができる。

【0016】さらに、nクラッド層で最もキャリア濃度の大きい層をGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層の結晶性が向上し、結晶性が向上することにより、発光出力を増大させることができる。

【0017】また、pクラッド層で最もキャリア濃度の大きい層をGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層と限定することにより、そのp<sup>+</sup>型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層の上に形成する正電極とのオーミック性が良くなり、V<sub>f</sub>を低下させて発光効率を向上させることができる。

【0018】

【実施例】以下有機金属気相成長法により、本発明の発光素子を製造する方法を述べる。

【0019】〔実施例1〕よく洗浄したサファイア基板を反応容器内にセットし、反応容器内を水素で十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させサファイア基板のクリーニングを行う。

【0020】続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスとして水素、原料ガスとしてアンモニアとTMG (トリメチルガリウム) とを用い、サファイア基板上にGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層よりなるバッファ層を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0021】バッファ層成長後、TMGのみ止めて、温度を1030℃まで上昇させる。1030℃になったら、同じく原料ガスにTMGとアンモニアガス、ドーパントガスにシランガスを用い、Siをドーブしたn<sup>+</sup>型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層を3.5μm成長させる。なお、このSiドーブn<sup>+</sup>型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層のキャリア濃度は $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ であった。

【0022】続いて、シランガスの流量を少なくして、キャリア濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のn型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層を0.5μm成長させる。このようにして、nクラッド層をキャリア濃度の異なる2層構造とする。

【0023】n型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層成長後、原料ガス、ドーパントガスを止め、温度を800℃にして、キャリアガスを窒素に切り替え、原料ガスとしてTMGとTMI (トリメチルインジウム) とアンモニア、ドーパントガスとしてDEZ (ジエチルジシラン) とシランガスとを用い、ZnおよびSiをドーブしたn型In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N層を100オングストローム成長させる。

【0024】次に、原料ガス、ドーパントガスを止め、再び温度を1020℃まで上昇させ、原料ガスとしてTMGとアンモニア、ドーパントガスとしてCp2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) とを用い、Mgをドーブしたp型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層を0.2μm成長させる。

【0025】続いてCp2Mgガスの流量を多くして、Mgをp型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層よりも多くドーブしたp<sup>+</sup>型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層を0.3μm成長させる。このようにしてpクラッド層をキャリア濃度の異なる2層構造とする。

【0026】p<sup>+</sup>型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層成長後、基板を反応容器から取り出し、アニーリング装置にて窒素雰囲気中、700℃で20分間アニーリングを行い、p型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層、およびp<sup>+</sup>型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層をさらに低抵抗化する。なお、p型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層のキャリア濃度は $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 、p<sup>+</sup>型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層のキャリア濃度は $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ であった。

【0027】以上のようにして得られたウェハのpクラッド層、n型In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N層、およびn型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層の一部をエッチングにより取り除き、n<sup>+</sup>型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層を露出させ、p<sup>+</sup>型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層と、n<sup>+</sup>型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層とにオーミック電極を設け、500μm角のチップにカットした後、常法に従い発光ダイオードとしたところ、サファイア基板面から観測して全面に均一な発光が得られ、20mAにおいてV<sub>f</sub>4.0V、発光出力700μW、発光波長490nm、輝度1.1cdが得られた。

【0028】〔実施例2〕実施例1において、n型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層を成長する際、新たに原料ガスにTMA (トリメチルアルミニウム) を加え、同じくキャリア濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のSiドーブn型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層を3.5μm成長させる。

【0029】さらに、p型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層を成長する際、新たに原料ガスにTMA (トリメチルアルミニウム) を加え、同じくキャリア濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ のMgドーブp型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層を0.2μm成長させる。

【0030】以上の他は実施例1と同様にして青色発光ダイオードを得たところ、同じく均一な全面発光が得られ、20mAにおいてV<sub>f</sub>4.0V、発光出力700μW、発光波長490nm、輝度1.1cdであった。

【0031】〔実施例3〕実施例1において、nクラッド層をキャリア濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、膜厚4μmのSiドーブn型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層1層とする他は、同様にして青色発光ダイオードを得たところ、同じく均一な全面発光が得られ、20mAにおいてV<sub>f</sub>4.2V、発光出力500μW、発光波長490nm、輝度1cdであった。

【0032】〔実施例4〕実施例1において、pクラッド層をキャリア濃度 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、膜厚0.5μmのMgドーブp<sup>+</sup>型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層1層とする他は、同様にして青色発光ダイオードを得たところ、同じく均一な全面発光が得られ、20mAにおいてV<sub>f</sub>4.2V、発光出力500μW、発光波長490nm、輝度1cdであった。

【0033】〔実施例5〕実施例1において、pクラッド層をキャリア濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 、膜厚0.2μmのMgドーブp型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N層1層とする他は同様にして青色発光ダイオードを得たところ、同じく均一な全面発光が得られ、20mAにおいてV<sub>f</sub>10V、発光出力500μW、発光波長490nm、輝度1cdであった。V<sub>f</sub>が増加したのは、pクラッド層をGaAlNとしたためにオーミック性が悪くなったからである。

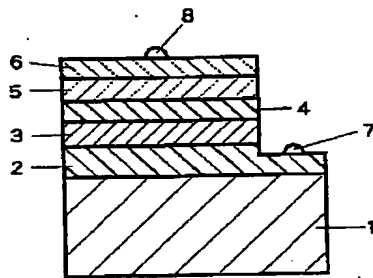
【0034】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の窒化ガリ

ウム系化合物半導体発光素子は、 $n$ 型  $\text{InGaN}$  を発光層とする  $p-n$  接合のダブルヘテロ構造としているため、従来の  $\text{MIS}$  構造の発光素子に比して、格段に発光効率、発光出力が増大する。また好ましくは  $n$  型  $\text{InGaN}$  層は、 $p$  型ドーパントおよび  $n$  型ドーパントがドーパされた  $n$  型であれば、さらに発光出力が増大する。

【0035】さらに本発明の発光素子は、 $\text{InGaN}$  層を挟む  $n$  クラッド層、および／または  $p$  クラッド層のキャリア濃度を活性層である  $\text{InGaN}$  に接近するほど小さくしているため、活性層全体に均一に電流が流れ、均一な発光が得られる。発光素子の発光出力を最大にするためには、 $n$  クラッド層、 $p$  クラッド層とも前記構造とすることが好ましいが、いずれか一方でもよい。このようにクラッド層を変化させることにより、発光素子の発光出力を格段に向上させることができる。また、好ましく  $p$  クラッド層の電極形成層を  $p+\text{GaInN}$  層とすること

【図1】



により、電極とのオーミック性が良くなり  $V_f$  を低下させて発光効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の構造を示す模式断面図。

【図2】 ドーパントの違いによる  $n$  型  $\text{InGaIn}$  層のフォトルミネッセンス強度を比較して示す図。

【符号の説明】

- |             |  |             |     |
|-------------|--|-------------|-----|
| 1 . . . . . | 基板   | 2 . . . . . | $n$ |
| 3 . . . . . | $n$ 型 $\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_z\text{N}$ 層 | 4 . . . . . | $n$ |
| 5 . . . . . | $p$ 型 $\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z\text{N}$ 層 | 6 . . . . . | $p$ |
| 7、8 . . .   | 電極   |             |     |

【図2】

